

[防雷系统]

大型石油储备库防雷系统技术的应用与思考

文/赵青

中国石油四川石化有限责任公司

主要通过介绍大型原油储备库区防雷系统演变及构成，以及先进的防雷技术及设施在库区的应用，分享罐区防雷接地系统维护方法及雷电预警应急响应，探讨大型原油储备库防雷系统的安全运行及未来防雷安全工作的发展方向。

油品罐区是储存大量油品的重要设施，而雷电是自然界中一种强大而又危险的天气现象。雷击是造成大型油品储罐起火的最主要事故因素，如果没有及时监测和采取有效措施，可能引发火灾、爆炸等严重事故，给人员和设备造成巨大风险。

大型石油储备库介绍

彭州位于成都平原中北部，属于四川盆地亚热带湿润气候区，西北崇山峻岭，东南平畴沃野，内河纵横，水源充沛。储备库始建于2013年，总容量 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，包含10座 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 外浮顶罐。库区位于两河之间的扇形台地内，年雷暴日为34.2日，为中雷区。雷雨季节来临时雷电频发，本地区经常发布雷电黄色预警，防雷工作已成为四川石化原油储运管理中一项重要工作。

石油储备库防雷系统

1. 防雷接地系统构成

原油储备库防雷接地系统包含接地网、接地极、接闪装置及引下线，同时储罐罐体安装有高中频雷电流分路器、中低频雷电流分流器，包含罐体扶梯、排水管和呼吸阀等金属附件的等电位连接，共同组成罐区防雷接地系统。原油储备库配备有先进的九章雷电预警系统、本地雷电专家预警系统、

小区域雷电预警系统、接地电阻在线检测系统、霍尔雷电流在线监测系统及雷电安全一体化监控平台。

2. 建库初期防雷接地系统

库区早期建成时，参照当时执行规范对库区进行了基本的防雷设计。整个库区采用2.5 m角钢作为接地极架设接地网，接地极顶部距地面0.8 m以上；罐区防雷利用储罐本体作为接闪器，距罐体3 m处设置环形水平接地带，储罐罐体每间隔18 m设置接地引下线，引下线距地0.6 m处设断接卡，断接卡与引下线采用2颗M12螺栓进行压接。同时，对罐体附件进行等电位连接，使整个储罐形成可靠电气通路。

3. 雷电流分路分流技术

(1) 高中频雷电流分路器

在储罐建设初期，油罐采用老式的包覆式导电片，然而这种导电片经常出现缺乏弹性、接触电阻过大等问题，给储罐安全运行带来风险。经过储罐大修，将原来的包覆式导电片更换为上翘的弹片式导电片。上翘式雷电流分路器具有足够的张力、良好的电流流通性、电气连接性以及耐磨性。通过可调节装置解决罐体微变形和浮盘位移造成的分路器与管壁间隙差异，保证实现分路器与管壁无阻抗的电气连接，确保浮盘上的高中频

雷电流得到及时释放，能够消除雷电流释放过程产生的火花。

(2) 中低频雷电流分流器

在解决中低频雷电流泄放问题的研究中，伸缩式防雷接地装置在储罐防雷安全防护中已经取得了良好的应用。库区于每个储罐安装了9套伸缩式防雷接地装置。该装置采用镀锡铜编制扁平软导线制作，装置本体通过安装支架固定在浮顶罐罐壁顶部角钢上，伸缩式导线固定在浮盘泡沫挡板上，实现罐壁与浮盘之间的可靠等电位连接。通过伸缩装置，无论浮盘在任何位置，静电连接都能保持罐壁与浮盘间的最短距离，使连接导线始终具有小电阻值，为雷电流和束缚电荷的泄放提供低阻抗通道；特别是浮盘在最高液位时，伸缩式接地装置导线伸出长度最短，交流阻抗最小。当发生雷击事故时，能及时有效地将雷电流和束缚电荷导入大地，同时降低浮盘和罐壁之间的瞬时过电压，保护密封环间距不会产生电弧，将储罐遭遇雷击起火的可能性大大降低。

4. 雷电预警与闪电定位系统

随着对储罐安全要求的不断提高，除对储罐本身的防雷要求之外，库区增设雷电预警系统，将储罐防雷安全工作从“被动防御”开始向“主动预警”扩展。

(1) 九章雷电预警系统

九章雷电基于气象卫星及本地气象监测，对库区周边气象数据进行实时监测及传输。九章雷电预警通过雷电图标的颜色渐变表示雷电的发生时间，闪电定位功能可以通过雷电图标的形状及大小来区分闪电的类型及雷电强度，如图1所示。通过计算雷云强度及到达时间，实现实时预警范围20 km以上，通过分析以上3个条件，系统自动将雷电预警分为三级预警（蓝、黄、红），库区通过不同预警级别制定相应的应急处理措施，可实现45 min以上准备时间，如图2所示。

九章雷电系统是借助网络云平台发布的，可通过网络信号传输，手机和计算机端均可实现访问，使得雷电预警更加灵活，实时性更强。

九章雷电预警系统闪电定位功能能准确定位300 m范围内雷击落雷点，并记录落雷强度，为分析雷击对储罐的影响程度，提供了有效的技术数据。

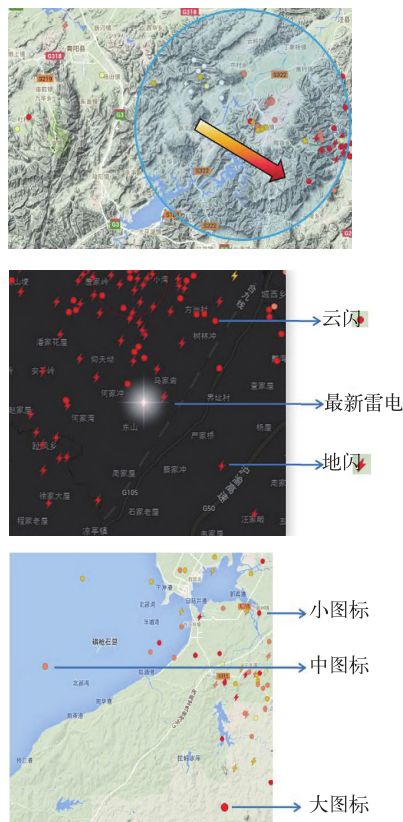


图1 雷电发生时间、强度、类型监测



图2 雷电分级预警

(2) 本地雷电预警专家

2020年库区安装一套ATSTORM第三代本地雷电预警专家系统，含4台ATSTORM v3探测装置，是一种可以24 h不间断监测环境静电场的雷电风暴预警装置。通过静电场与电磁场传感器相结合，进行双传感器计算验证，可检测到装置上方空间大气电场的增加，能够感知在库区上方形成的半径为20 km风暴的电场波动，同时可检测断开、计算雷

暴距离和调整警报级别。监测及预警通过电信网络传输，可以为库区提供数十分钟的提前处置时间。

5. 单罐数据监测

(1) 小区域雷电预警系统（小区域气象监测）

小区域雷电预警系统安装于库区内空旷地带，能实时监测库区内温度、湿度、风速、气压和降雨量等气象数据。

该系统采用国际领先的MEMS（微机电系统）电场传感器作为核心部件，主要用于侦测近地面电场变化情况，能够通过对电场强度、极性变化的探测和分析，实时地监测本地雷云变化，并对可能造成雷击危险的大气电场变化加以识别和预警。能够准确监测罐区周边5 km以内地面电场强度的变化，并根据雷电强度进行分级预警（蓝、黄、红），可至少提前20 min实现预警。

(2) 单罐霍尔雷电流检测系统

当雷击发生时，单罐霍尔雷电流检测报警系统对单体储罐雷电流进行实测，并根据检测系统提供的雷电流参数实时报警，如图3所示。



图3 单罐雷电流在线检测

(3) 接地电阻在线监测系统

每个油罐安装一套接地电阻在线监测装置，通过三极法对油罐接地网接地电阻进行实时检测，并通过历史数据分析，预测接地电阻的参数性能变化、腐蚀情况，给出维护建议如图4所示。



图4 接地电阻在线检测

6. 现有储罐雷电预警预防措施

(1) 日常维护检查

储罐防雷系统涵盖内容多且杂，保持系统有效运行的关键在于日常的维护检查。库区通过查阅各种国家标准、行业标准、企业标准，结合日常运行维护经验，将库区防雷接地系统分为12个部分：接闪器、接闪带、引下线、断接卡、等电位连接、人体静电消除器、外浮顶罐雷电流分流器、外浮顶罐雷电流分流器、地面设备设施、本地雷电预警专家系统和九章雷电预警系统、油品罐区小区域雷电一体化监测平台，针对每一个部分制定不同的检查标准、检查周期和检查单位，并编制了详细的检查标准表，通过区域划片巡查的方法，进行周期性维护检查，保障每一处设备设施都全面覆盖。检查内容和检查标准见表1和表2。

表1 罐区防雷防静电检查标准表（节选）

检查部位	检查内容	检查标准	检查周期
引下线	引下线数量	储罐引下线数量不应少于2根，引下线的距离不应大于18 m	次/半年
	外观，锈蚀情况	引下线不应有明显机械损伤、断裂及严重锈蚀现象	次/半年
断接卡	断接卡外观及安装	断接卡外观应无松动锈蚀断裂，每个断接卡采用2个M12螺栓连接	次/半年
	过渡电阻	断接卡与引下线之间过渡电阻不应大于0.03 Ω	次/半年
	接地电阻	冲击接地电阻不大于10 Ω，共用接地装置电阻不应大于4 Ω	次/半年
等电位连接	连接线	罐顶的金属杆风向标、金属杆防爆照明等是否与顶部金属平台围栏相连	雷雨季：
		储罐上部所有金属附件、接线盒和仪表外壳是否跨接	次/周
		储油罐上并排设置（小于100 mm间距）的电缆线金属保护管，相互间是否设置等电位连接，并与罐体间是否有等电位连接	平时：
		金属管道、电缆桥架、电缆金属外皮、金属构架与接地装置或等电位连接带是否完整，跨接线是否为铜质，截面积不小于16 mm ²	次/月
		罐顶部的量油孔等附件是否进行等电位跨接	
		储罐浮盘上强制呼吸阀与浮盘间是否进行等电位跨接	
		外浮顶储罐浮盘泡沫堰板与罐壁间有多少个呼吸阀，呼吸阀是否进行跨接	

(续)

检查部位	检查内容	检查标准	检查周期
等电位连接	连接线	罐顶浮盘四周的二次密封挡板是否进行了跨接，二次密封挡板等电位连接线不小于10 mm ²	
		罐体与浮顶间2根导线是否连接，检查外浮顶罐上部移动扶梯4个连接点是否跨接，是否采用截面积不小于50 mm ² 的铜芯软绞线、2个M12螺栓连接	
		连接线是否有断裂、缠绕、腐蚀情况	
	过渡电阻	所有跨接线过渡电阻不应大于0.03 Ω	次/半年
人体静电消除器	静电释放器的安装	检查进入装置入口、储罐上罐扶梯口处是否安装本安型人体静电消除器	安装时
		量油孔或检尺孔处（附近1.5 m外），或罐顶部金属平台的两侧（两面通行）走梯口处（每侧1处）是否安装本安型人体静电消除器	
		接地线≥16 mm ² ，采用不小于M10不锈钢螺栓连接	
	外观检查	接地线应无腐蚀断裂，接线紧固；触摸体与支撑体结合牢固	次/半年
		触摸体表面无破损、颜色变异或老化。	
	触摸体面电阻值	检测触摸体表面与金属支撑体之间的电阻值应1×10 ⁷ Ω~1×10 ⁹ Ω	次/半年
	电荷转移量	不大于0.1 μC	出厂时
	接地电阻值	检测支撑体与接地体之间的电阻值应小于100 Ω	次/半年
地面设备设施	防爆电气箱柜、仪器仪表、电缆桥架、金属管道	防爆电气箱柜、仪器仪表外壳是否接地，罐区重要的仪器仪表是否安装电涌过电压保护器	安装时
		进出罐区的金属管线、管路两端和每隔200~300 m处，分支处、拐弯处均应有接地装置	次/月
		桥架、槽盒起始端和终端端均应可靠接地	
		金属管线上，螺栓连接的法兰是否设置等电位跨接设施	
		金属管道上的过滤器、缓冲器是否可靠接地	
		大型金属件或平台，重点跨管线的行人金属梯或作业金属平台是否设置防感应雷的等电位连接接地设施	
		罐区内外是否有高杆灯，高杆灯是否接地	
		罐区内现场所有的防爆电气设备，是否存在失爆的状况，不符合防爆设备安装和使用的技术要求及安全隐患描述。	
	接地电阻	接地电阻不应小于10 Ω，共用接地装置电阻不应大于4 Ω	次/年
	过渡电阻	所有跨接线过渡电阻不应大于0.03 Ω	次/年

表2 罐区防雷防静电设施巡回检查表（节选）

设备位号	
检查项目	检查标准
引下线	不应有明显机械损伤、断裂及严重锈蚀现象
断接卡	断接卡外观应无松动锈蚀断裂，每个断接卡采用2个M12螺栓连接，连接无松动
金属杆防爆照明	是否与顶部金属平台围栏相连，连接线是否有断裂、缠绕和腐蚀情况
储油罐上并排设置的电缆金属保护管	相互间是否设置等电位连接，并与罐体间是否有等电位连接，连接线是否有断裂、缠绕和腐蚀情况
电缆桥架	与接地装置、等电位连接带是否完整，连接线是否有断裂、缠绕、腐蚀情况
电缆金属外皮	
金属构架	
防雷接地线	接地电阻不应大于4 Ω
金属跨接线	过渡电阻不应大于0.03 Ω

6.2 雷电分级预警应急响应

根据雷电分级预警，制定三级（蓝色、黄色、红色）应急响应预案，分别对消防岗值班人员、消防队火警检测员、库区值班干部、工艺岗位控制值班人员和储油罐作业人员分别进行岗位工作划分，当发生险情时，立即调动各个岗位，分工协作。

(1) 蓝色雷电预警应急响应

1) 消防岗值班人员，及时将雷电预警信息通知

消防队、班长，同时注意对原油储罐的视频监控及光纤火灾报警系统、可燃气体报警系统的监控，检查和确认固定消防设施状态是否完好，做好启动泡沫灭火系统、消防系统的突发事件的应急准备。

2) 消防队值班人员告知消防队长，消防队长通知全队做好应急准备。

3) 消防车辆进入战备状态，消防队员检查消防车辆及移动装备，确保车辆正常运行，装备可靠

好用。

4) 班长通过工业电视监控系统加强对原油储罐监控, 安排部署应急准备工作, 通知高空作业撤离时间长的施工作业人员做好撤离准备。

5) 值班人员使用视频监控对原油罐区进行巡查, 做好应对突发事件的准备工作。

(2) 黄色雷电预警应急响应

1) 消防岗值班人员, 通知消防队值班人员、班长, 加强对原油储罐的视频监控及光纤火灾报警系统的监控, 做好突发事件的应急准备。

2) 消防队派出火警检测员在瞭望台加强对原油罐区的监控。

3) 消防车辆进入战备状态待命, 指挥车到库区进行巡逻, 确保能第一时间发现突发事件。

4) 值班干部到中控室, 通过工业电视监控系统加强对原油储罐监控, 安排部署应急准备工作, 同时通知高空作业人员完成撤离。

5) 站控值班人员进一步加强对原油储罐的视频监控, 做好应对突发事件的准备工作。

(3) 红色雷电预警响应

1) 消防岗值班人员通知消防队值班人员、值班干部。重点加强对原油储罐的视频监控及光纤光栅火灾报警系统的监控, 做好突发事件的应急准备。

2) 消防队火警检测员进一步加强对原油罐区的监控。消防队进入战备状态。

3) 值班干部进一步加强对原油储罐监控, 通知值班领导进入应急状态。

4) 工艺岗位控制值班人员, 加强对原油储罐的视频监控, 加强对运行输油设备的监护, 做好停输、倒罐等应对突发事件的准备工作。

5) 值班人员发现异常情况或接到异常事件报告后, 立即启动应急程序, 开展消防灭火, 并注意污水流向, 及时指挥排查, 并按照应急响应程序逐级上报。

6) 储油罐作业人员应立即开始撤离储油罐本体。

7) 当报警消除后, 应由值班领导下达解除应急状态的指令, 恢复正常状态。

其他避雷装置

上述防雷接地系统在很大程度上能保证系统稳

定运行, 对于罐区遭受雷击后的安全运行起到了至关重要的作用。若增加先进的避雷设施, 降低罐区遭受雷击的概率, 在很大程度上能规避雷电引起的事故伤害。

卫星+提前放电避雷针已经在国内多家大型厂矿、重要建筑设施上进行了应用并取得了优良的避雷效果。

1. 卫星+提前放电避雷针工作原理

当雷电产生时, 云层内部产生一个雷电下行先导, 提前放电避雷针会产生一个比普通避雷针更快的一个上行先导, 直接将闪电引至避雷针, 避免落雷至非避雷针设施。工作原理如图5所示。

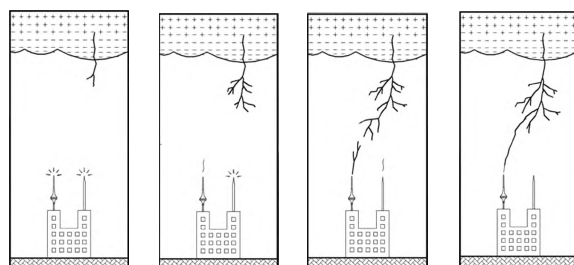


图5 卫星+提前放电避雷针工作原理

2. 卫星+提前放电避雷针的优点

1) 在同等高度下, 保护范围较普通避雷针更大, 以高出保护设施5 m高度计算, 保护半径接近100 m。

2) 落雷更准确, 减小雷击点落于非避雷针体的概率。

3) 击穿电压较普通避雷针低, 故接闪电压较普通避雷针更低。

雷电安全一体防护系统

未来外浮顶油罐防雷工作将向“主动防护为主, 应急防护为辅”的理念发展, 重点抓好初期火灾的处置工作, 构建大型油品储罐安全一体化防护系统, 让油罐安全生产由“被动防护”变为“主动防护”, 如图6所示, 工作流程如图7所示。

外浮顶油罐安全一体防护系统包括雷电监测预警、可燃气体检测报警、高效填充密封、雷电流分路分流阻断、视频勘察和应急消防联动等, 由多个系统形成整体防控平台, 通过服务器上的云计算, 对平台中所有数据进行采集、分析和处理, 做到雷电有预警、雷击有阻断、事故有应急, 可有效保障油罐生产安全。

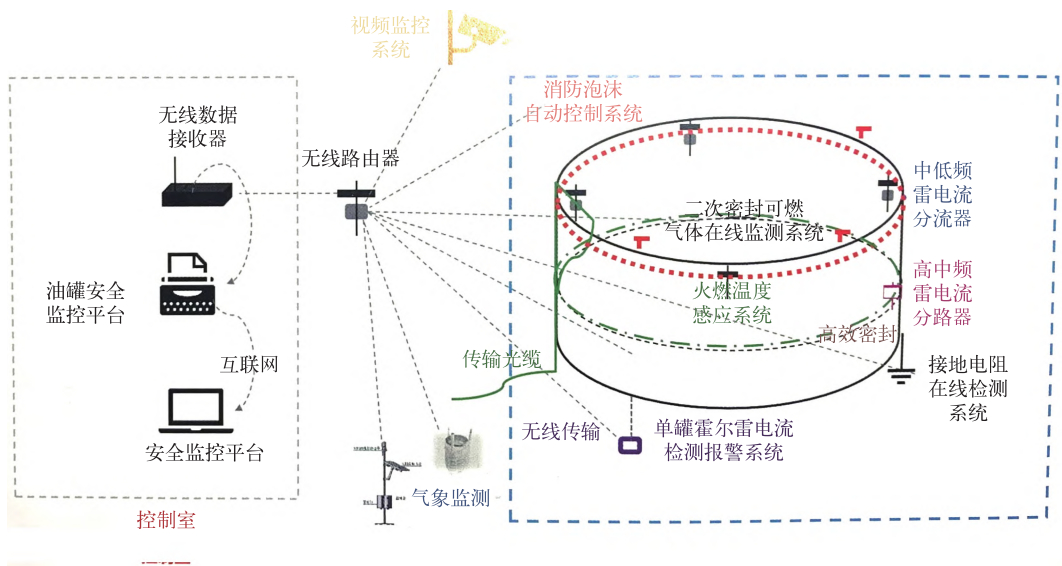


图6 安全一体化防护系统构成

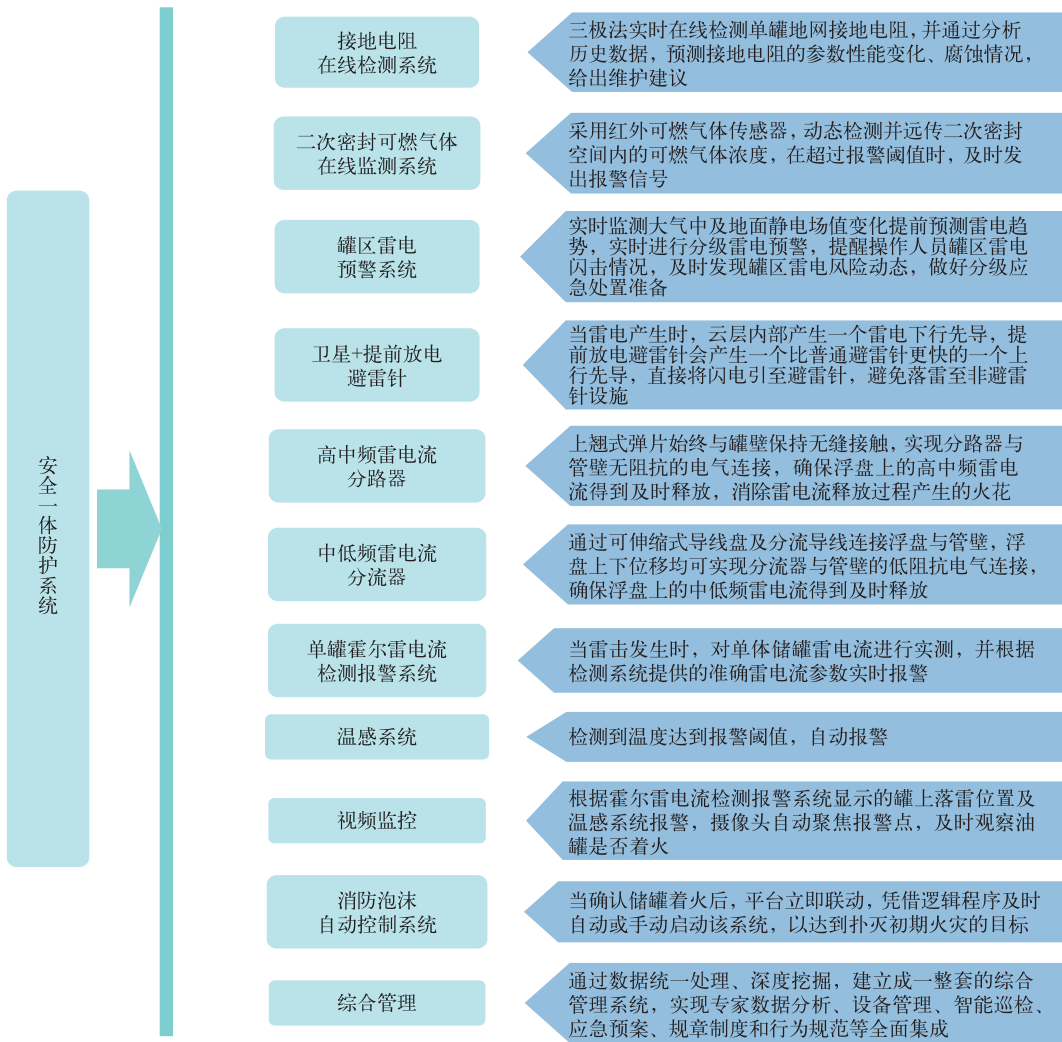


图7 安全一体化防护系统工作流程

结束语

防雷工作作为储罐安全运行的重要环节，综合对比、充分采用先进技术手段，利用现代信息化管理手段，人工、智能相结合，建立安全一体化防护系统，通过平台综合管理加强储罐监测监控、定期巡检维护，才能在最大程度上保证储罐防雷接地系统完好，确保储罐安全运行。EA

(收稿日期：2024-03-17)

参考文献

- [1] 石油与石油设施雷电安全规范：GB 15599-2009[S].
- [2] 爆炸和火灾危险场所防雷装置检测技术规范：GB/T 32937-2016 [S].
- [3] 建筑物防雷装置检测技术规范：GB/T 21431-2015 [S].
- [4] 外浮顶油罐雷电分流分路安全技术规范：SY/T 7600-2020 [S].
- [5] 石油化工电气工程施工质量验收规范：SH/T 3552-2021 [S].
- [6] 外浮顶油罐防雷技术规范 第1部分：导则：Q/SY 08718. 1-2019 [S].
- [7] 炼化及销售企业现场安全检查规范 第2部分：原油储备库：Q/SY 08128. 2-2021 [S].
- [8] 田红岩. 大型外浮顶储罐典型事故分析与风险防控对策-石油工业出版社，2021.
- [9] 王金龙. 外浮顶罐原油储罐防雷技术探讨[J]. 安全、健康和环境，2018，18(11)：25-28.

